Identification des accrus de frêne en milieu de montagne par télédétection hyperspectrale : objectifs et premiers résultats de la mission MADONNA

D. Sheeren, M. Fauvel, S. Ladet, A. Jacquin, C. Monteil, M. Goulard

Université de Toulouse
Institut National Polytechnique de Toulouse
Ecole Nationale Supérieure Agronomique (ENSAT) / Ecole d'Ingénieurs de Purpan
UMR 1201 DYNAFOR, INRA/INP-ENSAT/INP-EI Purpan

Cadre des recherches

- **L'écologie du paysage… :**
  - Quel est l'impact des activités agricoles sur le paysage ?
  - Quel est l'impact de l'hétérogénéité du paysage sur la biodiversité ?
- **…dans le contexte du changement global :**
  - Comment évolue le paysage et donc la biodiversité ?
  - Quels sont les facteurs responsables de son évolution ?

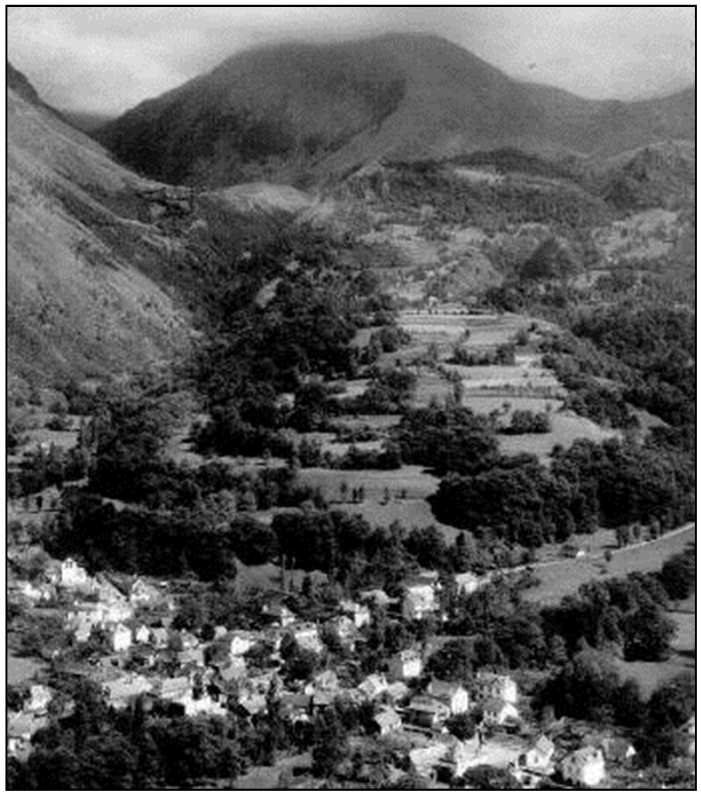
Prévoir et anticiper les réponses des écosystèmes aux changements des paysages

Question et travaux à l'origine de la mission aérienne :

Quelles sont les causes, les processus et les conséquences de l'enfrichement des prairies par le frêne dans les Pyrénées ?

Commune de Villelongue (65)

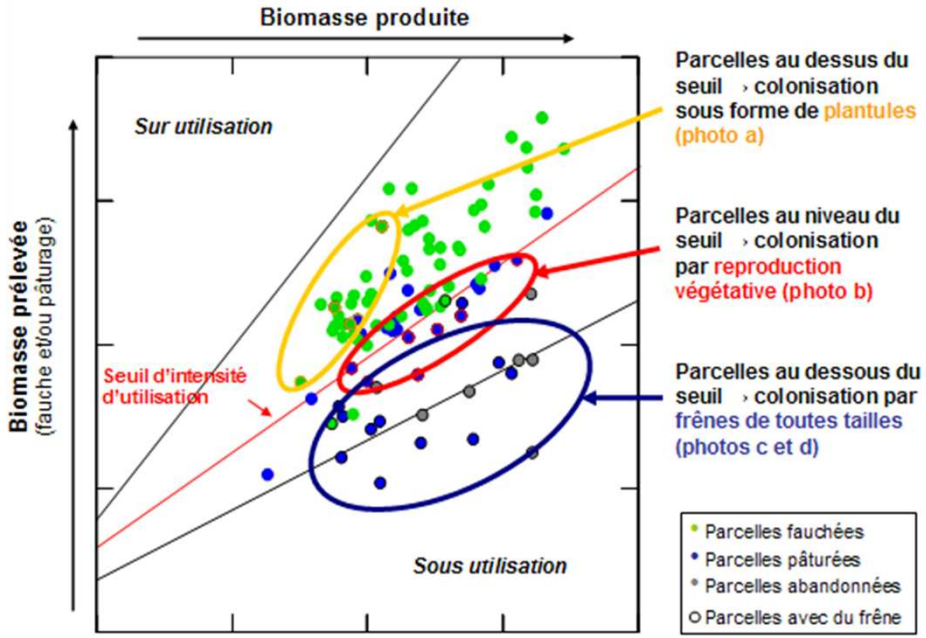
1950



2000

Question et travaux à l'origine de la mission aérienne :

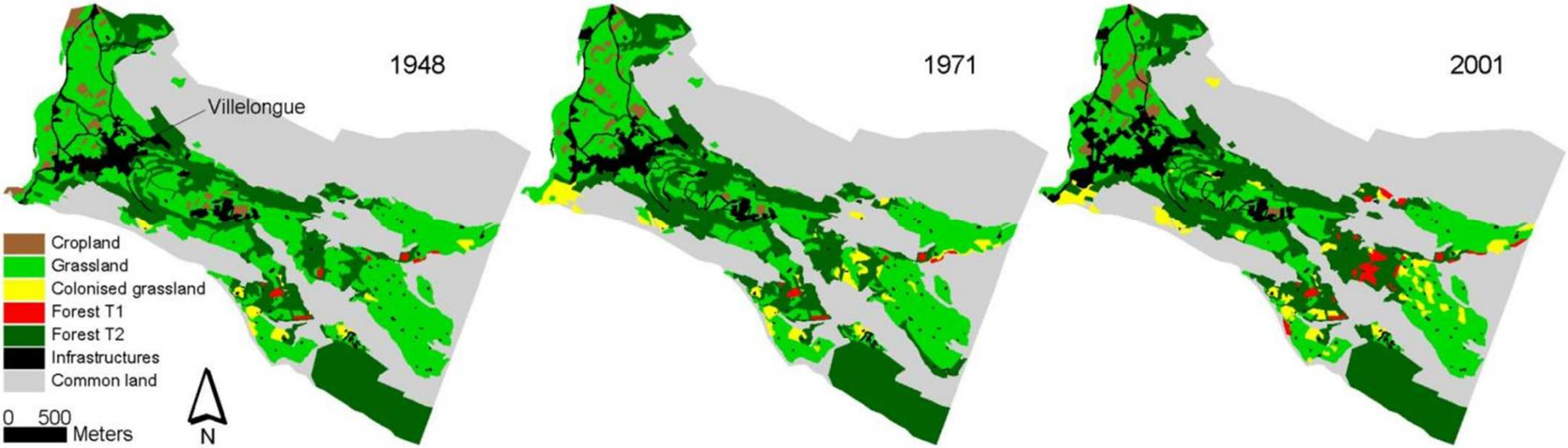
- **Des connaissances acquises sur les processus écologiques :**
  - L'installation du frêne est principalement contrôlée par les pratiques de gestion des éleveurs :
    - En l'absence de fauche, le frêne colonise les prairies sous-pâturées ou les parcelles à l'abandon (Julien et al. 2006)



Question et travaux à l'origine de la mission aérienne :

- **Des connaissances acquises sur les pratiques agro-pastorales et les changements d'usage des terres** (Mottet et al. 2006) :
  - Abandon des terres (déprise agricole)
  - Diminution des prés de fauche
  - Sous-utilisation des prairies (sous-pâturage)

➡ **Installation du frêne**



Question et travaux à l'origine de la mission aérienne :

- **Un modèle simulant les interactions entre les processus écologiques et les pratiques agro-pastorales** :

Développement du modèle SMASH :

« Spatialized Multi-agent System for ASH tree »

AGENTS

Dynamiques anthropiques

- **Pratiques de gestion (fauche, pâturage)**

RESSOURCES

Dynamiques écologiques

- **Croissance du frêne**
- **Production fourragère**

Interactions entre processus écologiques et pratiques de gestion

GIBON A., SHEEREN D., MONTEIL C., LADET S. and BALENT G. 2010. Modelling and simulating change in reforesting mountain landscape using a socio-ecological framework, *Landscape Ecology*, 25(2), pp. 267-285.

Problème :

- **Absence de données sur la répartition spatiale du frêne pour l'ensemble du territoire d'étude** :
  - Cartographie existante uniquement pour Villelongue :
    - Par photo-interprétation et enquête terrain
    - A l'échelle de la parcelle agricole (données agrégées)

- **Tentatives infructueuses de détection du frêne par télédétection multispectrale multi-dates (SPOT-5) :**
  - Pas de signature spectrale ni forme de cime spécifiques.
  - Nombreuses confusions avec les autres espèces.

<u>Hypothèse</u> : possibilité de distinguer le frêne des autres espèces par télédétection hyperspectrale

(cf. Travaux de Pontius et al. 2008, Waser et al. 2010)

Objectif : acquérir de nouvelles données plus adaptées

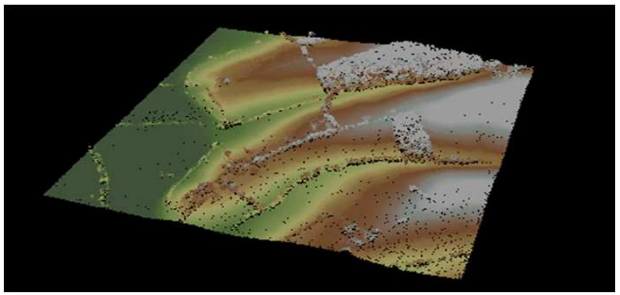
« MADONNA : Mission d'Acquisition de DONNées hyperspectrales et LiDAR par capteurs aéroportés »

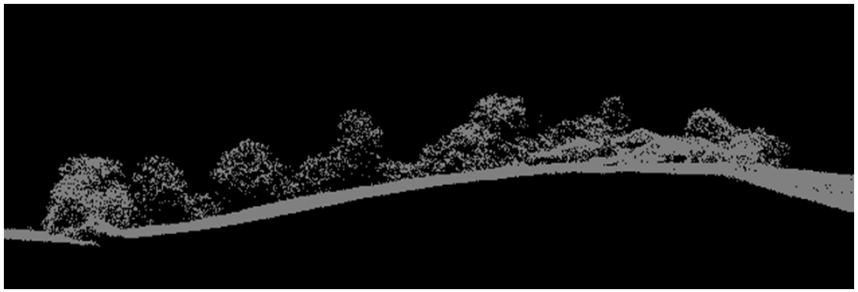
- Des données à très haute résolution spatiale et spectrale, pour :
  - (1) **Caractériser finement l'état 2D et 3D de la végétation** :
    - Les espèces (frêne…), les mélanges, les petits objets (haies, arbres isolés…), la hauteur des peuplements, les prairies…
  - (2) **Estimer certaines variables biophysiques de la végétation** à un instant *t* :
    - Analyse foliaire (chlorophylle, N, P, K…)

➡ ***De nouvelles variables pour les modèles écologiques et la cartographie des habitats***

La mission MADONNA et les données acquises

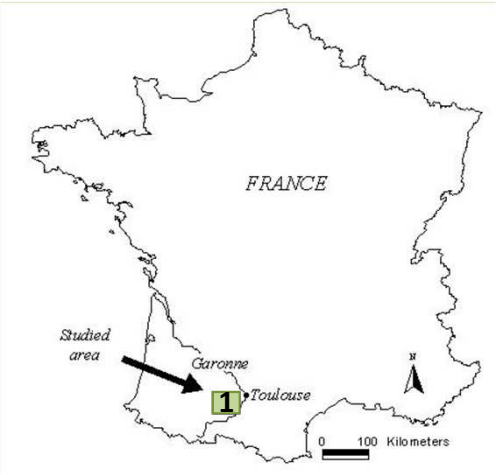
- **Réalisation :** 18-20 juillet 2010 (AERODATA)
- **Données hyperspectrales : capteur HySpex**
  - Gamme spectrale : 400 – 1000 nm (visible + PIR)
  - Nombre de bandes : 160
  - Résolution spectrale : 1,5 nm
  - Résolution spatiale : 50 cm
- **Données LiDAR : capteur Riegl LMS-Q560**
  - Retours discrets + retours d'onde complète
  - Densité moyenne : 2 à 4 pts/m²
  - EMQz (exactitude alti) < 20 cm

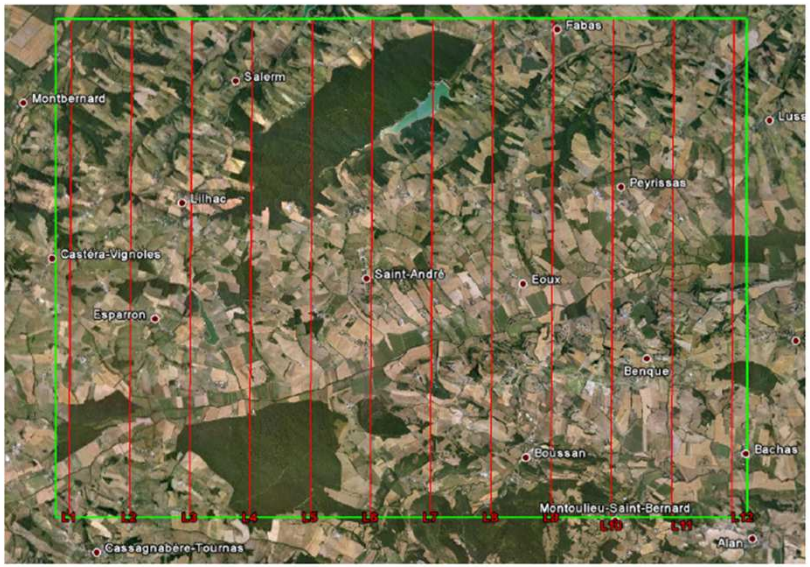




Sites d'études couverts par la mission

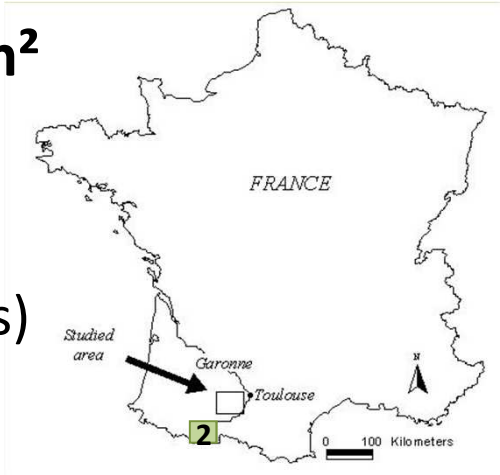
- **(1) Aurignac (Haute-Garonne) : 118 km²**
  - Paysage agri-forestier des Vallées et Coteaux de Gascogne (Sud-Ouest)
  - Site du réseau ILTER (International Long Term Ecological Research)

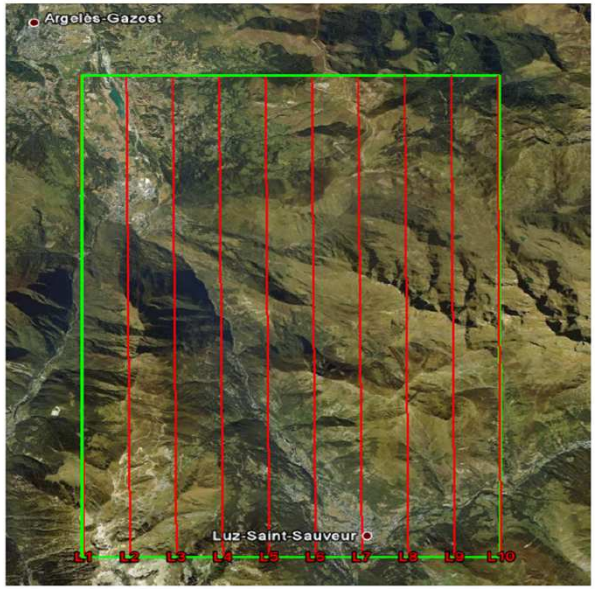




Sites d'études couverts par la mission

- **(2) Le Davantaygue (Hautes-Pyrénées) : 140 km²**
  - Paysage de montagne en zone périphérique du Parc National des Pyrénées
  - Vallée du Gave de Pau (20 km au sud de Lourdes)





Données terrain

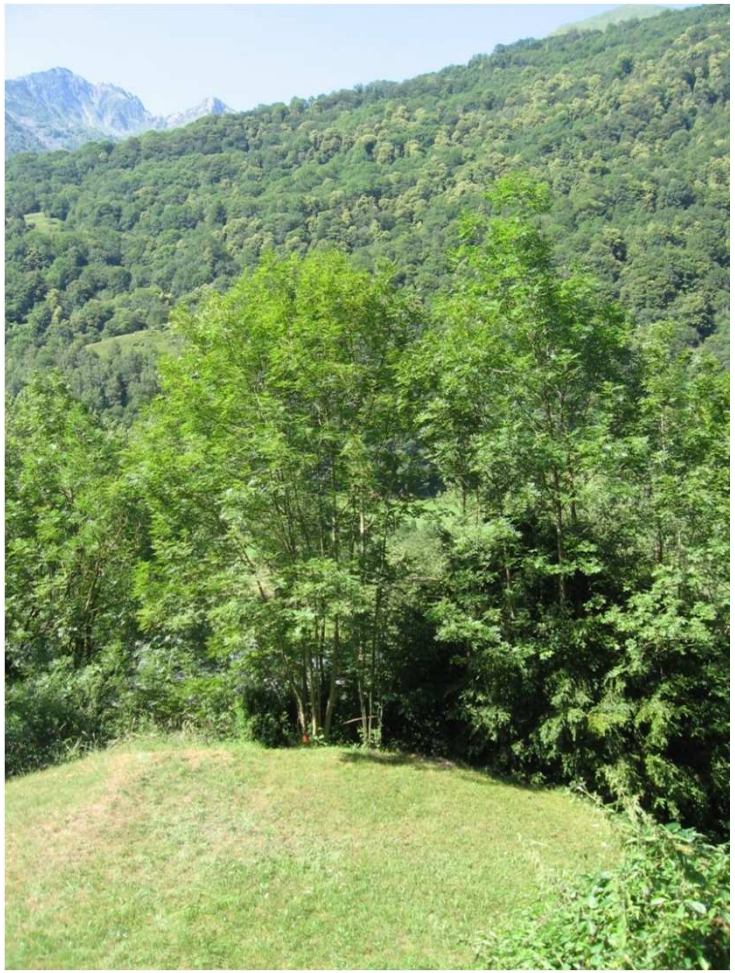
- **Espèces d'arbres** (110 unités)

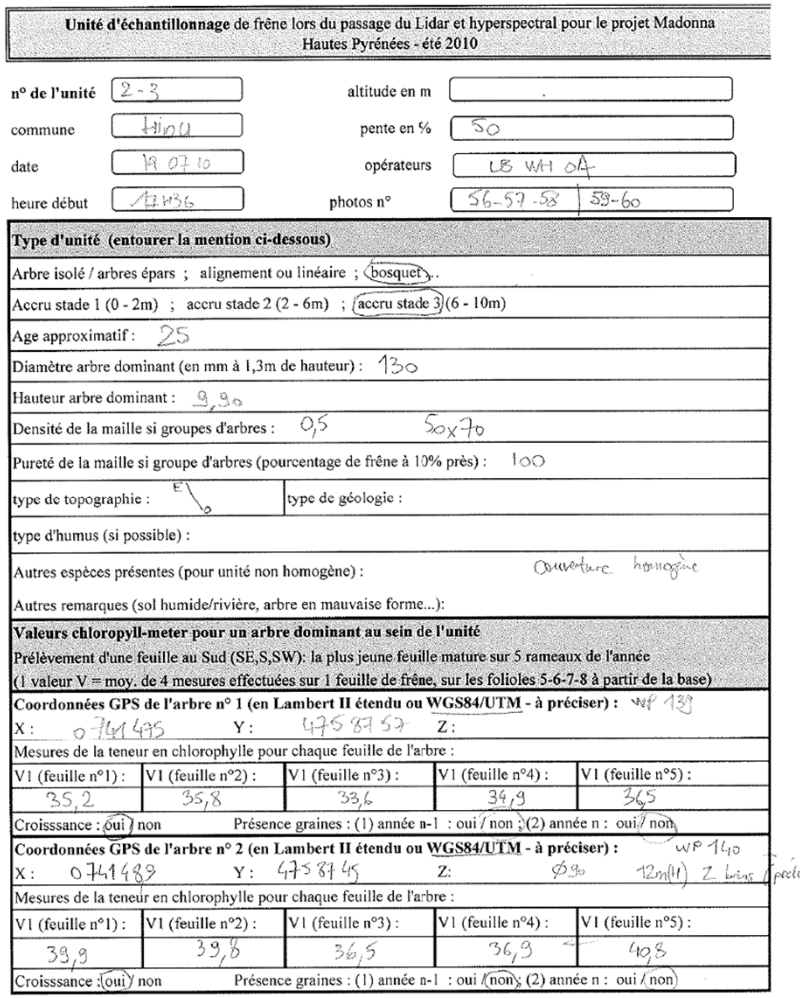
n° d'unité observée sur photo aérienne	codification photo aérienne	espèce observée dans l'unité	détails + indication de la hauteur en mètre + estimation de la pureté
1	A	fougère aigle	pureté 100%
2	A	chêne	bouquet de 3 pieds adultes (25m)
3	A	châtaignier	bouquet de 3 pieds (12 -25m)
4	A	chêne	alignement de 5 pieds (20 - 25m)
5	A	tilleul	arbre isolé
6	A	robinier	tache
7	A	peuplier	arbre isolé (25m)
8	B	douglas	bosquet de douglas abattus dans l'hiver printemps 2010
9	B	peuplier	2 alignements avec houppiers étroits (25m)
10	C	épicéa	plantation en massif (25m)
11	C	chêne	alignement
12	A	frêne	arbre isolé (20m)
13	A	bouleau	en peuplement lache accompagnés de quelques chênes
14	A	bouleau	bosquet de 3 pieds (18m) + 1 autre bosquet de 3 tiges
15	A	bouleau	bosquet de 30 tiges (18m) + 1 chêne de 15m dans la tac
16	A	chêne	arbre isolé (25m)
17	A	frêne	frênes d'émonde autour d'une grange (12 - 15m)
18	A	bouleau	2 bouleaux isolés sur le talut amont de la route
19	C	frêne	bouquet de 3 frênes d'émonde (20 - 25m)
20	C	bouleau	2 bouleaux (1 gros + 1 petit + 1 tilleul imbriqué en dess
21	C	bouleau	tache de 5 pieds (15 - 20m)
22	C	noisetier	taillis
23	C	fougère aigle	pureté 95%
24	C	bouleau	tache de 9 bouleaux (15 - 20m)
25	C	aulne glutineux	tache sous forme de taillis (95%) + frêne en bordure de
26	C	bouleau	tache de 8 - 9 bouleaux (15 - 20m)
27	C	bouleau	tache de 7 bouleaux (15 - 20m) autour de la grange
28	C	aulne glutineux	tache (3 - 4m) + 1 pied de saule + 1 pied de frêne
29	C	frêne	1 dizaine de pieds de frênes d'émonde autour d'une gr
30	C	bouleau	tache pure de 9 bouleaux (15 - 20m)
31	C	fougère aigle	100%
32	C	saule marsault	tache de 12 tiges (8 - 12m)
33	C	bruyère	sur crête
34	C	noisetier	tache de taillis, composition 85% (2 - 4m)
35	C	frêne	accru de frêne (5 - 8m)
36	C	aulne glutineux	taillis en zone humide (1 - 3m)

espèce	nb d'unités
aulne glutineux	5
bouleau	14
bruyère	1
châtaignier	5
chêne	13
douglas	1
épicéa	2
érable champêtre	1
fougère aigle	9
frêne	15
hêtre	5
merisier	1

Données terrain

- **Analyse foliaire sur le frêne (61 unités)**
  - Minolta SPAD-502 chlorophyll meter





Unité d'échantillonnage de frêne lors du passage du Lidar et hyperspectral pour le projet Madonna
Hautes Pyrénées - été 2010

n° de l'unité	2-3	altitude en m	.
commune	Hiou	pente en %	50
date	19 07 10	opérateurs	LB WH OA
heure début	17h36	photos n°	56-57-58 / 59-60

Type d'unité (entourer la mention ci-dessous)

Arbre isolé / arbres épars ; alignement ou linéaire ; (bosquet).

Accru stade 1 (0 - 2m) ; accru stade 2 (2 - 6m) ; (accru stade 3) (6 - 10m)

Age approximatif : 25

Diamètre arbre dominant (en mm à 1,3m de hauteur) : 130

Hauteur arbre dominant : 9,90

Densité de la maille si groupes d'arbres : 0,5 50x70

Pureté de la maille si groupe d'arbres (pourcentage de frêne à 10% près) : 100

type de topographie : E | type de géologie :

type d'humus (si possible) :

Autres espèces présentes (pour unité non homogène) : Couverture homogène

Autres remarques (sol humide/rivière, arbre en mauvaise forme...):

Valeurs chloropyll-meter pour un arbre dominant au sein de l'unité
Prélèvement d'une feuille au Sud (SE,S,SW): la plus jeune feuille mature sur 5 rameaux de l'année
(1 valeur V = moy. de 4 mesures effectuées sur 1 feuille de frêne, sur les folioles 5-6-7-8 à partir de la base)

Coordonnées GPS de l'arbre n° 1 (en Lambert II étendu ou WGS84/UTM - à préciser) : WP 139

X : 0741495 Y : 4758757 Z :

Mesures de la teneur en chlorophylle pour chaque feuille de l'arbre :

V1 (feuille n°1) :	V1 (feuille n°2) :	V1 (feuille n°3) :	V1 (feuille n°4) :	V1 (feuille n°5) :
35,2	35,8	33,6	34,9	36,5

Croisssance : (oui) / non Présence graines : (1) année n-1 : oui / non ; (2) année n : oui / non

Coordonnées GPS de l'arbre n° 2 (en Lambert II étendu ou WGS84/UTM - à préciser) : WP 140

X : 0741489 Y : 4758745 Z: 890 12m(H) 2 bras (pectiné)

Mesures de la teneur en chlorophylle pour chaque feuille de l'arbre :

V1 (feuille n°1) :	V1 (feuille n°2) :	V1 (feuille n°3) :	V1 (feuille n°4) :	V1 (feuille n°5) :
39,9	39,8	36,5	36,9	40,8

Croisssance : (oui) non Présence graines : (1) année n-1 : oui / (non) ; (2) année n : oui / non

Premières expérimentations

- **Objectif : identifier le frêne dans tous ses états…**
  - Différents stades de développement : plantules, perchis, mâture…
  - Différents contextes : boisement monospécifique, mélangé à d'autres espèces, isolé ou regroupé (haie, bosquet, massif)…

- **Approches envisagées :**
  - (1) Classification supervisée (en cours) : monospécifique
  - (2) Démélange spectral linéaire (à venir) : prairie colonisée, mélange

Premières expérimentations

- **Objectif : identifier le frêne dans tous ses états…**
  - Différents stades de développement : plantules, perchis, mature…
  - Différents contextes : boisement monospécifique, mélangé à d'autres espèces, isolé ou regroupé (haie, bosquet, massif)…

- **Approches envisagées :**
  - (1) Classification supervisée (en cours) : monospécifique
  - (2) Démélange spectral linéaire (à venir) : prairie colonisée, mélange

Premières expérimentations

- **Approche par classification supervisée : mise en œuvre**

Premières expérimentations

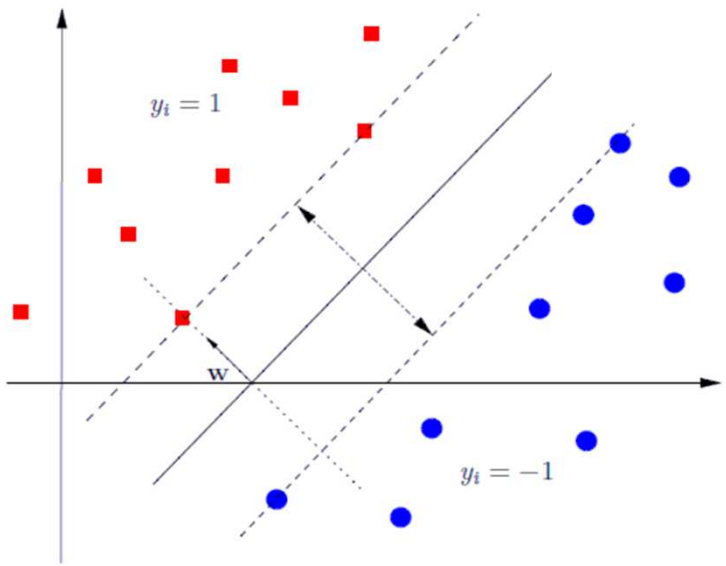
- **Approche par classification supervisée : mise en œuvre**
  - (1) **Pré-traitement des données** :
    - Orthorectification (MNT LiDAR) et mosaïquage
    - Données en luminance et en réflectance (corr. atmo.)

Premières expérimentations

- **Approche par classification supervisée : mise en œuvre**
  - (1) **Pré-traitement des données** :
    - Orthorectification (MNT LiDAR) et mosaïquage
    - Données en luminance et en réflectance (corr. atmo.)
  - (2) **Apprentissage** : Séparateurs à Vastes Marges (SVM)

Premières expérimentations

- **Approche par classification supervisée : mise en œuvre**
  - (1) **Pré-traitement des données** :
    - Orthorectification (MNT LiDAR) et mosaïquage
    - Données en luminance et en réflectance (corr. atmo.)
  - (2) **Apprentissage** : Séparateurs à Vastes Marges (SVM)
    - Principe :
      - Trouver un classifieur qui ***maximise la distance*** (marge) entre les exemples d'apprentissage (vecteurs support) et l'hyperplan.



Premières expérimentations

- **Approche par classification supervisée : mise en œuvre**
  - (1) **Pré-traitement des données** :
    - Orthorectification (MNT LiDAR) et mosaïquage
    - Données en luminance et en réflectance (corr. atmo.)
  - (2) **Apprentissage** : Séparateurs à Vastes Marges (SVM)
    - Principe :
      - Trouver un classifieur qui ***maximise la distance*** (marge) entre les exemples d'apprentissage (vecteurs support) et l'hyperplan.
      - Si **séparation non linéaire** : transformation des données dans un espace de re-description de plus grande dimension via une **fonction noyau** pour rechercher une séparation linéaire.

Premières expérimentations

- **Approche par classification supervisée : mise en œuvre**
  - (1) **Pré-traitement des données** :
    - Orthorectification (MNT LiDAR) et mosaïquage
    - Données en luminance et en réflectance (corr. atmo.)
  - (2) **Apprentissage** : Séparateurs à Vastes Marges (SVM)
    - Principe :
      - Plusieurs fonctions noyau possibles :

linéaire gaussien polynomial

Premières expérimentations

- **Approche par classification supervisée : mise en œuvre**
  - (1) **Pré-traitement des données** :
    - Orthorectification (MNT LiDAR) et mosaïquage
    - Données en luminance et en réflectance (corr. atmo.)
  - (2) **Apprentissage** : Séparateurs à Vastes Marges (SVM)
    - Exemples d'apprentissage :
      - 12 espèces d'arbres (frêne, châtaignier, noisetier…)

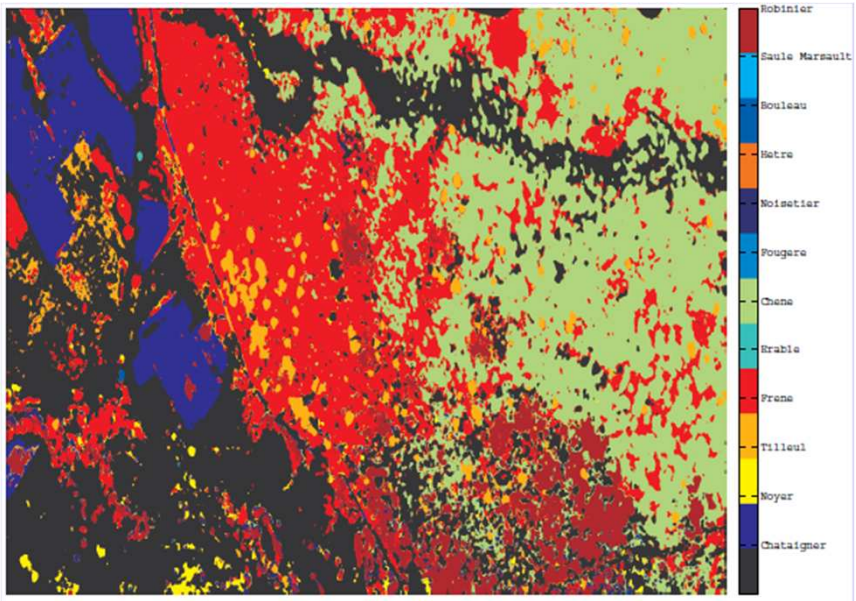
Premières expérimentations

- **Approche par classification supervisée : mise en œuvre**
  - (1) **Pré-traitement des données** :
    - Orthorectification (MNT LiDAR) et mosaïquage
    - Données en luminance et en réflectance (corr. atmo.)
  - (2) **Apprentissage** : Séparateurs à Vastes Marges (SVM)
  - (3) **Validation** avec vérités terrain

Premières expérimentations

- **Résultats :**

	MLC	SVM_{RBF}	$SVM_{lineaire}$	$SVM_{polynomial}$
Précision globale	72%	94%	89%	94%
Kappa	0,65	**0,92**	0,89	**0,93**
Précision utilisateur	84%	89,2%	83,1%	93,9%
Précision producteur	53,6%	89,9%	88,8%	94,7%



Conclusion et perspectives

- **Bilan :**
  - SVM bien adapté à la classification d'images hyperspectrales
  - Détection possible des espèces arborées (dont le frêne)
- **Poursuite des travaux :**
  - Pré-traitements :
    - Approche hiérarchique (exclure *non végétation* et *non arboré*)
    - Masque en fonction de l'altitude (frêne < 1400m)
  - Traitements :
    - Optimiser les paramètres de classification (noyau)
    - Estimer les mélanges, identifier les parcelles colonisées ?
- **A terme :**
  - Identifier les facteurs limitant la croissance du frêne
  - Expliquer les différences de croissance entre sites

Identification des accrus de frêne en milieu de montagne par télédétection hyperspectrale : objectifs et premiers résultats de la mission MADONNA

D. Sheeren, M. Fauvel, S. Ladet, A. Jacquin, C. Monteil, M. Goulard

Université de Toulouse
Institut National Polytechnique de Toulouse
Ecole Nationale Supérieure Agronomique (ENSAT) / Ecole d'Ingénieurs de Purpan
UMR 1201 DYNAFOR, INRA/INP-ENSAT/INP-EI Purpan